

# ДВИЖУЩИЕ СИЛЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГИЯ И ПОСЛЕДНИЕ СЦЕНАРИИ ВЫБРОСОВ МГЭИК

ВЛАДИМИР КАГРАМАНЯН, СЕРГЕЙ КОНОНОВ И ГАНС-ХОЛГЕР РОГНЕР

**П**ерспективы мирового развития в следующие 100 лет полны загадок и неопределенностей. Однако аналитики способны оценить альтернативные пути развития и различные комплексы движущих сил, чтобы получить картину будущего, а точнее, ряд картин, в зависимости от исходных предположений, которыми они пользуются.

В течение последних десятилетий научно-исследовательское сообщество уделяло значительное внимание изучению проблем изменения климата и моделированию возможного развития климата в будущем, его воздействия и способов смягчения вероятных последствий. Эти исследования носят комплексный характер, включают оценки тенденций социального и экономического развития, а также развития технологий в различных областях.

В начале 2000 г. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) представила *Специальный доклад о сценариях выбросов (СДСВ)* на период до 2100 г. Этот доклад содержит 40 сценариев, разработанных с помощью шести компьютерных моделей для мира в целом и для его основных регионов, и касается главным образом основных парниковых газов (ПГ) и двуокиси серы. Сценарии предназначены служить основой для оценок изменения климата и его воздействий (см. вставки на стр. 32 и 33).

Новые сценарии исходят из принципа “невмешательства” в изменение климата — иными словами, они исключают меры по сокращению выбросов пар-

никовых газов. Однако в них предусмотрены меры в отношении других факторов, воздействующих на окружающую среду; сюда относится, например, прогресс в области использования в развивающихся странах технологий десульфурации, что в результате приводит к более низким величинам глобальных выбросов двуокиси серы по сравнению с более ранними оценками МГЭИК.

В настоящей статье дается краткий обзор последних сценариев выбросов, подготовленных МГЭИК, и внимательно рассматривается возможная роль ядерной энергии, которая способна обеспечить необходимую долгосрочную перспективу развития в ядерной области. Такая перспектива видится особенно полезной, поскольку возможные варианты “ядерного будущего” моделировались в этих сценариях без учета соображений, непосредственно относящихся к изменению климата. В этих сценариях внимание скорее было сосредоточено на конкуренции по техническим и экономическим показателям между разными вариантами энергоснабжения как главной движущей силой, определяющей структуру топливного баланса в энергетической системе.

## ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ СЦЕНАРИЕВ

Включенные в СДСВ 40 сценариев разбиты на четыре группы (которые называются “семействами сценариев”): А1 (17 сценариев); А2 (6 сценариев); В1 (9 сценариев); и В2 (8 сценариев). В основу каждого семейства сценариев положен комплекс качественных руководящих прин-

ципов (их называют “сюжетные линии”). В качестве иллюстрации каждой сюжетной линии был выбран один репрезентативный сценарий (его называют “маркерный”, или “маркер”). Это, однако, не означает, что его вероятность выше, чем у других сценариев (см. вставку, стр. 32).

## ДОЛЯ ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ И СТРУКТУРА ЭНЕРГЕТИКИ

В СДСВ использован динамический подход к ресурсам и технологиям энергетики — иными словами, прогресс в развитии технологий открывает больше возможностей для расширения ее ресурсной базы.

Структура первичных источников энергии, предусмотренная в четырех маркерных сценариях, свидетельствует о следующем:

- К 2100 г. существенно возрастает производство первичной энергии — с 40% по сценарию В1 до шестикратного увеличения по сценарию А1.

- Во всех сценариях показано существенное снижение доли ископаемых видов топлива.

- Совокупная доля энергии возобновляемых источников и ядерной энергии возрастет к 2100 г. в два-три раза.

- В растущей группе источников энергии, не использующих ископаемое топливо, имеется и доля ядерной энергетики, величина которой варьируется. Доля ядерной энергии в общем объеме первичной электроэнергии,

---

*Г-н Каграманян и г-н Кононов — сотрудники Секции планирования и экономических исследований Департамента ядерной энергии МАГАТЭ, г-н Рогнер — руководитель Секции.*

## СЦЕНАРИИ ВЫБРОСОВ МГЭИК

Десять лет назад Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), учрежденная Всемирной метеорологической организацией и Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде, разработала свои первые долгосрочные сценарии выбросов для использования их при анализе сложной проблемы изменения климата. В начале 2000 г. МГЭИК обнародовала новый набор сценариев, учитывающих новейшие достижения научного знания и понимания проблемы. Как говорится в *“Резюме для тех, кто определяет политику”*, сценарии могут толковаться по-разному, а в их основе лежат всесторонние оценки опубликованных результатов исследований и текущих событий в этой области.

Выбросы парниковых газов представляют собой продукт весьма сложных динамических систем, на которые будут оказывать влияние такие движущие силы, как демографические процессы, социально-экономическое развитие и технический прогресс. Эволюция этих движущих сил в будущем характеризуется значительной неопределенностью, и сценарии содержат описание альтернативных вариантов возможного будущего развития событий. Сами по себе эти сценарии представляют собой отвечающий своему назначению инструмент анализа возможного влияния движущих сил на объемы выбросов в будущем и оценки связанных с ними неопределенностей. Они помогают при анализе изменения климата, в том числе при его моделировании и оценке климатических воздействий, приспособления к ним и их смягчения.

Последние сценарии МГЭИК охватывают широкий диапазон основных движущих сил, влияющих на формирование выбросов парниковых газов и двуокиси серы. Каждый сценарий представляет собой конкретную количественную интерпретацию одной из четырех сюжетных линий. Каждая сюжетная линия предполагает специфическое, отличное от других, направление развития в будущем демографических, социальных, экономических, технических и экологических факторов. Все сценарии, имеющие в своей основе одну и ту же сюжетную линию, сведены в “семейство” сценариев.

С использованием многомодельного подхода в общей сложности было разработано 40 сценариев. В тридцати из них исследуются варианты развития технического потенциала производства энергии на основе различных исходных предположений. Ни в одном из 40 сценариев не содержится в качестве четкой исходной посылки осуществление Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата или достижение показателей снижения уровней выбросов парниковых газов, предусмотренных Киотским протоколом. Однако в сюжетных линиях и сценариях в общем плане отражено влияние на выбросы парниковых газов мероприятий, не связанных с изменением климата.

■ **Сюжетная линия и семейство сценариев А1** описывают будущий мир, для которого характерны очень высокие темпы экономического роста, увеличение численности населения до пиковой величины в середине века и его последующее снижение, а также внедрение быстрыми темпами и более производительными видами технологии. Основными факторами, обусловившими такое развитие, здесь являются сближение в уровне развития регионов, наращивание потенциала и более тесное социальное и культурное взаимодействие, сопровождаемое существенным



Credit: C. Sherburne/PhotoLink

уменьшением различий между регионами в доходах на душу населения. Семейство сценариев А1 подразделено на три группы, в которых рассматриваются альтернативные направления изменения технологии в энергетической системе. Эти три группы различаются тем, какой технологии отдается предпочтение: широкому использованию ископаемого топлива, источникам энергии, не использующим ископаемое топливо, или сочетанию всех источников энергии.

■ **Сюжетная линия и семейство сценариев А2** описывают весьма неоднородный мир. В его основе — опора на собственные силы и сохранение местной самобытности. Показатели рождаемости в различных регионах сближаются очень медленно, что приводит к постоянному росту численности населения планеты. В экономическом развитии доминирует региональная ориентация, а экономический рост и темпы технического прогресса в расчете на душу населения характеризуются значительно большей фрагментарностью и более медленным развитием, чем в других сюжетных линиях.

■ **Сюжетная линия и семейство сценариев В1** описывают конвергентный мир с такой же численностью населения, которая достигает пиковой величины в середине века, а затем снижается, как это предусмотрено в сюжетной линии А1, но с быстрыми структурными изменениями в мировой экономике в сторону экономики услуг и информационного общества. Это сопровождается снижением материалоемкости производства и переходом на использование экологически чистых и ресурсосберегающих технологий. Главное внимание при этом уделяется поиску глобальных решений в целях обеспечения экономической, социальной и экологической устойчивости, в том числе большей социальной справедливости, но без реализации дополнительных инициатив в отношении климата.

■ **Сюжетная линия и семейство сценариев В2** описывают мир, в котором главное внимание уделяется поиску местных решений в целях обеспечения экономической, социальной и экологической устойчивости. Это — мир, в котором численность населения постоянно растет, но темпы роста ниже, чем в сюжетной линии А2, экономическое развитие идет средними темпами, а для технического прогресса характерны менее высокие темпы, но большее разнообразие, чем в сюжетных линиях В1 и А1. В то время как этот сценарий также ориентируется на охрану окружающей среды и социальную справедливость, главное внимание здесь уделяется мерам регионального и местного масштаба.

Более подробную информацию о деятельности МГЭИК и о сценариях выбросов можно получить в Интернете на Web-страницах МГЭИК: <http://www.ipcc.ch>.



## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ "МАРКЕРНЫХ" СЮЖЕТНЫХ ЛИНИЙ И СЕМЕЙСТВ СЦЕНАРИЕВ МГЭИК

Семейство сценариев	Сюжетная линия семейства сценариев	Население планеты (млрд. человек)			ВВП на душу населения (в тыс. долл. США, 1990 г.)			Производство первичной энергии (гигаджоули на душу населения)			CO <sub>2</sub> (гигатонны углерода) (ежегодно/совокупные показатели)			Источники первичной энергии	Доля источников первичной энергии		
		1990	2050	2100	1990	2050	2100	1990	2050	2100	1990	2050	2100		1996	2050	2100
A1	Высокие темпы экономического роста, низкие темпы роста населения, высокие темпы внедрения новых технологий; становление "однородного мира" (конвергенция) с ликвидацией региональных различий	5,3	8,7	7,1	4,0	20,8	74,9	66	138	295	7,1	16,4	13,5	Ископаемое топливо	83,4%	59,9%	30,7%
											—	—	—	Возобновляемые источники энергии*	14,3%	29,9%	65,5%
											—	738	1499	Ядерная энергия (1)**	2,3%	10,2%	3,7%
														Ядерная энергия (2)	6,5%	25,6%	10,5%
														Ядерная энергия, ГВт (эл.)***	351	~5600	~3500
A2	Становление "неоднородного мира": показатели рождаемости в регионах не сближаются, высокие темпы роста населения, экономическое развитие остается привязанным к регионам	5,3	11,3	15,1	3,8	7,2	16,1	59	86	114	7,1	17,4	29,1	Ископаемое топливо	83,4%	82,0%	71,9%
											—	—	—	Возобновляемые источники энергии	14,3%	11,6%	14,4%
											—	736	1862	Ядерная энергия (1)	2,3%	6,4%	13,6%
														Ядерная энергия (2)	6,5%	17,1%	32,4%
														Ядерная энергия, ГВт (эл.)	351	~2800	~10600
B1	"Однородный мир", как в варианте A1, однако экономика будет "дематериализовываться" (преобладание услуг и информации); моделируется преимущественное внимание к обеспечению глобальной устойчивости	5,3	8,7	7,0	4,0	15,6	46,6	70	93	73	7,1	11,3	4,2	Ископаемое топливо	83,4%	69,8%	47,7%
											—	—	—	Ядерная энергия + Возобновляемые источники энергии	16,6%	30,2%	52,3%
											—	606	983	Ядерная энергия, ГВт (эл.)	351	оценки нет	
B2	"Неоднородный мир", как в варианте A2, но с более значительным вниманием к обеспечению устойчивости; предусмотрен поиск решений соответствующих проблем, но, в отличие от варианта B1, на уровне регионов	5,3	9,4	10,4	4,0	11,7	22,6	67	93	130	7,1	11,0	13,3	Ископаемое топливо	83,4%	70,2%	50,7%
											—	—	—	Возобновляемые источники энергии	14,3%	24,4%	38,8%
											—	562	1164	Ядерная энергия (1)	2,3%	5,5%	10,5%
														Ядерная энергия (2)	6,5%	14,9%	26,1%
														Ядерная энергия, ГВт (эл.)	351	~2200	~6400

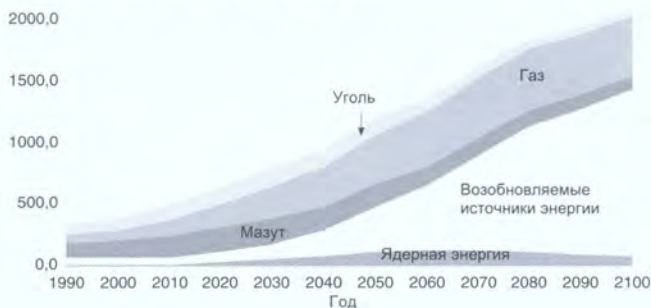
\* Возобновляемые источники энергии включают гидроэнергетику, солнечную, ветровую и геотермальную энергию, производство энергии из биомассы.

\*\* Две группы данных — представленные как ядерная энергия (1) и ядерная энергия (2) — отражают разные подходы к расчетам. Ядерная энергия (1) отражает произведенный в СДСВ перерасчет доли ядерной энергии в общем объеме поставок первичной энергии. В СДСВ электричество, произведенное на ядерных объектах, пересчитано в первичную энергию путем перевода из тераватт-часов в эксаджоули. В результате доля ядерной энергетики в общем объеме производства энергии в 1996 г. оценивается величиной около 2%, что отличается от более часто встречающегося показателя — 7%, который получается с учетом тепловой отдачи атомных электростанций. Ядерная энергия (2) содержит показатели, полученные с использованием подхода, который применяют в Международном энергетическом агентстве Организации экономического сотрудничества и развития; они показаны курсивом, чтобы обратить внимание на различия.

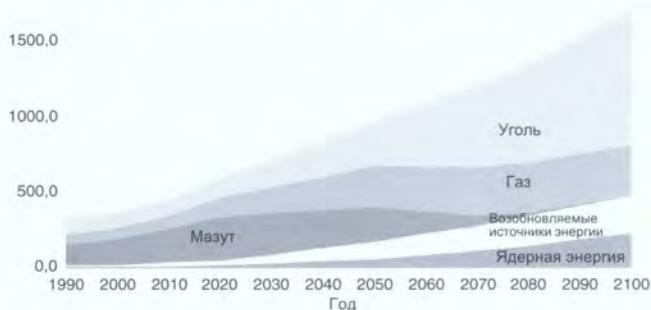
\*\*\* Мощность рассчитывается на основе оценок объемов первичной энергии, содержащихся в СДСВ, которые обозначены символом E (энергия в эксаджоулях) 31,71 (перевод единиц энергии в ГВт в год)/0,7 (принятый коэффициент средней мощности).

**СТРУКТУРА ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ В МАРКЕРНЫХ СЦЕНАРИЯХ МГЭИК**  
(ЭКСАДЖОУЛИ)

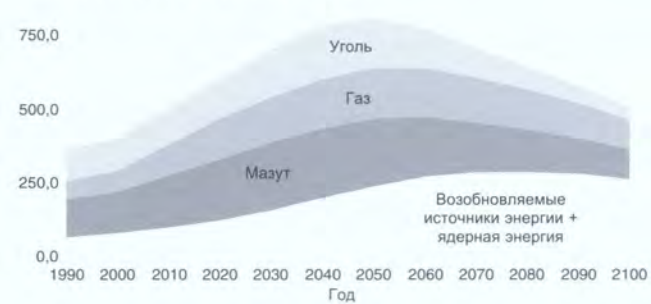
Маркерный сценарий А1



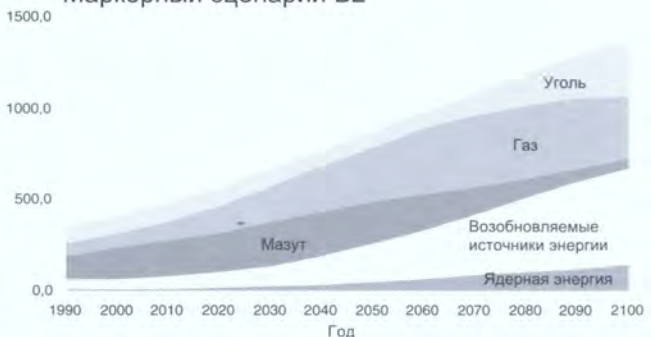
Маркерный сценарий А2



Маркерный сценарий В1



Маркерный сценарий В2



составляющая в настоящее время 6—7%, может возрасти к 2100 г. до 10—30%. Это будет эквивалентно общей мощности ядерной энергетики от 3500 до 10 600 гигаватт электрических [ГВт (эл.)].

Оценивая эту прогнозируемую ситуацию, важно помнить, что в основу сценариев были положены различные исходные предположения, касающиеся технического и экономического развития. Это обстоятельство привело к следующим последствиям:

■ В маркерном сценарии А1 возобновляемые источники превзойдут по экономическим показателям как ископаемое топливо, так и ядерную энергию. Хотя доля ядерной энергетики значительно возрастает до 2050 г., под влиянием этого фактора она впоследствии снижается с максимальной величины около 5500 ГВт (эл.) в 2050 г. до 3500 ГВт (эл.) в 2100 г.

■ Маркерный сценарий А2 исходит из того, что самый быстрый рост будет достигнут на угольных электростанциях, а использование возобновляемых источников будет возрастать более плавно. Ядерная энергетика сохранит свою конкурентоспособность, и ее мощность возрастет до 10 600 ГВт (эл.).

■ В маркерном сценарии В1 доля энергии, производимой без использования ископаемого топлива, достигнет к 2100 г. около 50%. Индивидуальные доли ядерной энергетики и возобновляемых источников энергии в этом маркерном сценарии не рассчитаны. Диапазон возможностей иллюстрируют два крайних "немаркерных" случая из семейства сценариев В1. В этих сценариях доля ядерной энергетики в 2100 г. оценивается, соответственно, в 340 ГВт (эл.) и 4200 ГВт (эл.), что свидетельствует о том, что будущее ядерной энергетики может быть весьма различным, в зависимости от факторов, определяющих ее конкурентоспособность по



отношению к возобновляемым источникам энергии.

■ В маркерном сценарии В2 мощности ядерной энергетики возрастают до 6400 ГВт (эл.) в 2100 г. Это отражает прогнозируемый более медленный прогресс в использовании возобновляемых источников, а также региональный характер развития, при котором ядерная энергетика сохраняется там, где она доказала свою жизнеспособность.

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ СЦЕНАРИЕВ

В СДСВ мир представлен в разбивке на четыре региона. Они обозначены следующим образом: ОЭСР-90 (все члены Организации экономического сотрудничества и развития по состоянию на 1990 г.), РЕФ (страны Центральной и Восточной Европы, а также новые независимые государства бывшего Советского Союза), АЗИЯ (все развивающиеся страны в Азии) и АЛМ (остальной мир).

Сценарии показывают, что в развитии ядерной энергетики могут быть различия как по регионам, так и в мировом масштабе. Например, сценарии А1 и А2 прогнозируют мощности ядерной энергетики в 2100 г. для стран ОЭСР-90, соответственно, в 680 ГВт (эл.) и 3300 ГВт (эл.); соответствующие прогнозируемые показатели в АЗИИ составляют 1400 ГВт (эл.) и 4100 ГВт (эл.).

Это указывает на существенный сдвиг в развитии ядерной энергетики, его перемещение из стран ОЭСР-90 в страны АЗИИ и в меньшей степени — в АЛМ. Например, уже к 2050 г. оба сценария — А1 и А2 — прогнозируют наличие более высоких мощностей ядерной энергетики в странах АЗИИ, чем в странах ОЭСР-90.

## ОБОБЩАЯ КАРТИНУ

Резюмируя, можно сказать, что новые сценарии выбросов МГЭИК показывают следующие диапазоны развития ядерной энергии:

■ Большинство сценариев исходят из предположения, что ядерная энергия сохранит свою важную роль в мировом энергоснабжении. В трех из четырех репрезентативных сценариев прогнозируемая глобальная мощность ядерной энергетики в 2100 г. составит от 3500 до 10 600 ГВт (эл.) в зависимости от того, насколько успешно ядерная энергия будет конкурировать с ископаемым топливом и возобновляемыми источниками энергии. Это можно сопоставить с мощностью существующих на сегодня атомных электростанций, составляющей около 350 ГВт (эл.).

■ В то же время ряд сценариев показывают, что быстрое совершенствование производства энергии на базе возобновляемых источников (по сравнению с ядерными технологиями) может стать причиной стагнации или снижения темпов развития ядерной энергетики.

В соответствии с одним из таких сценариев общая мощность ядерной энергетики возрастает и достигает в середине столетия пиковой величины в 5500 ГВт (эл.), а затем к 2100 г. снижается до 3500 ГВт (эл.). Некоторые другие сценарии указывают на стагнацию мощностей ядерной энергетики на современном уровне. Таким образом, в СДСВ подтверждается, что в долгосрочной перспективе роль ядерной энергии крайне неопределенна, особенно в связи с неопределенностью ожидаемой конкурентоспособности различных технологий производства энергии.

■ Что касается регионов, то, как ожидается, страны Азии значительно увеличат использование ядерной энергии, а темпы роста ядерной энергетики в других регионах будут ниже. В отличие от современной ситуации, к 2050 г. мощность ядерной энергетики в Азии, возможно, превысит ее мощность в странах ОЭСР.

■ Увеличение доли ядерной энергетики в выработке электричества потребует значитель-

ных технических усовершенствований атомных электростанций, с тем чтобы сохранить их конкурентоспособность по отношению к наиболее совершенным альтернативным технологиям. Нарастание масштабов производства приведет к ужесточению требований в отношении эффективности использования урана в реакторах, а также методов обращения с отходами.

В большинстве включенных в СДСВ сценариев предполагаются значительные (и разные для различных сценариев) усовершенствования техники ядерных электростанций по сравнению с существующими конструкциями. Однако, подобно ядерным технологиям, которые упоминаются в СДСВ, эти изменения были предложены в общем виде в качестве предполагаемого средства снижения затрат, конкретные же проектные решения не рассматривались. А наличие таких решений было бы крайне важным, как и положительное отношение общественности к ядерной энергии (которое непосредственно не анализируется в СДСВ).

■ Мандат СДСВ предписывал исключение мер по предупреждению и уменьшению воздействия парниковых газов из сценариев СДСВ. Такие меры, если они будут приняты, могут оказать дополнительное положительное влияние на варианты получения энергии, в которых не используется ископаемое топливо, включая ядерную энергетику.

В целом исследование МГЭИК показывает, что будущее развитие ядерной энергетики не обязательно зависит от соображений изменения климата и что ядерный вариант по-прежнему рассматривается как существенный компонент структуры энергетики независимо от мер по борьбе с парниковыми газами. В этом состоят важные идеи тщательного перспективного исследования, охватывающего период до конца XXI века. □